◆提质增效产品创制技术◆

化肥防结块技术措施

刘志刚，左利旗，焦士杰，吴沿博，王海川

（中国–阿拉伯化肥有限公司，河北 秦皇岛 066003）

［摘 要］化肥结块会降低肥料利用率、影响农业生产。系统分析化肥结块核心诱因，从生产端与使用端梳理全套防控措施。生产端通过将肥料$w(H_2O)$精准控制在0.6%以下、35 ℃左右恒温包装、优选专用防结剂及优化颗粒筛分工艺，可大幅降低结块风险；试验表明，优选粉状包裹剂可将肥料剪切力降至21.07～36.35 N，防结块效果显著。使用端通过控温控湿、定期翻包、规范码垛等方式辅助防控。同时，探究新型淀粉基、纳米基防结块技术，试验显示其90 d仓储结块率分别为4.9%、1.6%，远低于空白组26.8%。多措并举的管控方案可有效改善化肥结块问题；新型防结块技术性价比与实用性突出，可为化肥保质增效、农业可持续发展提供技术支撑。

［关键词］化肥结块；防结块措施；生产管控；技术支持；性价比

［中图分类号］TQ44 ［文献标志码］A ［文章编号］2097–4566（2026）08–0053–05

Measures on anti-caking technology for chemical fertilizers

LIU Zhigang, ZUO Liqi, JIAO Shijie, WU Yanbo, WANG Haichuan

(*Sino-Arab Fertilizer Co., Ltd., Qinhuangdao* 066003, *China*)

Abstract: The caking of fertilizers will reduce the fertilizer utilization rate and affect agricultural production. Systematically analyzing the core causes of fertilizer caking, a complete set of prevention measures are formulated from the production and usage ends. At the production end, by precisely controlling the water content of the fertilizer to be below 0.6% and packaging it at a constant temperature of around 35 ℃, choosing specific anti-caking agents and optimizing the particle screening process, the risk of caking can be significantly reduced; experiments show that choosing a powdered encapsulation agent can reduce the shear force of the fertilizer to 21.07 – 36.35 N, with a remarkable anti-caking effect. At the usage end, temperature control and humidity control, regular bag turning, and standardized palletizing are used as auxiliary prevention measures. At the same time, exploring new starch-based and nano-based anti-caking technologies, the 90-day storage caking rates of these technologies are 4.9% and 1.6% respectively, much lower than the blank group's 26.8%. The comprehensive control plan can effectively improve the problem of fertilizer caking. The new anti-caking technology has outstanding cost-effectiveness and practicality, and can provide technical support for fertilizer quality preservation and enhancement and agricultural sustainable development.

Key words: fertilizer caking; anti-caking measures; production control; technical support; cost-effectiveness

0 引言

化肥作为现代农业不可或缺的重要投入品，在提高作物产量和改善土壤肥力方面扮演着至关重要的角色。然而，化肥在生产加工及长期储存期间，常因受潮、挤压等因素发生板结，这不仅会降低化肥的溶解度和利用率，导致使用效果不佳，严重时还会对作物生长产生负面影响[1]。因此，深入研究化肥防结块技术，对于提升农业生产效率、保障作物品质及促进农业可持续发展具有深远意义。

1 化肥结块的原因分析

化肥结块是一个复杂的现象，由多种物理和化学因素共同作用而成，主要原因包括以下几个方面[2–3]。

（1）水含量过大：化肥在生产过程中会含有一定的水分，当水含量过高时，在运输或储存过程中，水分会在颗粒间起到润滑和黏结作用，使得化肥颗粒容易黏附在一起，发生结块。特别是在湿度较高的环境中，这种结块现象更为严重[4]。

（2）物料堆积和压实：化肥在储存和运输过程

收稿日期：2026–02–28

作者简介：刘志刚（1994— ），男，河北衡水人，从事复合肥生产管理工作。

中，由于堆积高度和重力的影响，化肥颗粒会受到持续的挤压。长时间被挤压或压实会导致化肥颗粒间的空隙减小，颗粒间的摩擦力增大，进而形成结块。这种压实作用在化肥堆的底部尤为明显。

（3）振动和颗粒聚集：在运输过程中，由于车辆颠簸等原因，化肥颗粒会受到振动。振动会使原本分散的颗粒发生相互碰撞和摩擦，质量差的颗粒由于表面粗糙度不足，容易在碰撞中聚集在一起，形成较大的颗粒团，最终导致结块。

（4）化学反应：在储存过程中某些化肥成分之间可能发生化学反应，如吸湿、水解等，这些反应会导致化肥颗粒表面的性质发生变化，颗粒间的黏结力增强，从而形成结块。此外，某些添加剂也可能与化肥成分发生反应，导致颗粒间的黏结和结块。

2 防结块措施

针对化肥结块的原因，可采取多种防结块措施，这些措施包括生产端的预防措施和使用端的控制措施[5-8]。

2.1 生产端的预防措施

（1）降低水含量和包装温度：在高浓度复合肥料（w（总养分）≥40.0%）的生产与储存环节，水含量与包装温度的控制是保障肥料质量的关键因素。依据GB 15063—2020规定，此类高浓度复合肥料的$w(H_2O)$应≤2.0%。实践表明，水含量与肥料在运输、储存过程中的结块现象密切相关，水含量越高，结块现象越显著。以高氮肥为例，在不同水含量的情况下，剪切力越大化肥结块越严重，剪切力数据如表1所示。

表1 不同水含量高氮肥的剪切力数据

Table1 Shear force of high nitrogen fertilizer with different water content

编号	不同水含量下的剪切力/N		
	$w(H_2O)$2%	$w(H_2O)$1%	$w(H_2O)$0.6%
1	200.00	79.36	34.21
2	185.67	85.54	32.15
3	200.00	82.87	33.51
4	200.00	84.15	32.87
5	193.47	79.95	31.05
6	200.00	82.41	33.78
7	200.00	81.07	30.65
8	192.45	80.57	34.21

注：剪切设备的应力上限为200 N，除水含量不同，其他条件一致。

为有效解决这一问题，可采用精密的干燥机进行加热，并配合除湿机进行除湿降温操作。通过这一系列措施，能够将化肥的$w(H_2O)$精准控制在0.6%以下的低水平状态。与此同时，物料包装温度的控制也不容忽视。尽管当前GB15063—2020尚未对物料温度作出明确规定，但温度在化肥生产与储存过程中影响较大。温度过高时，肥料颗粒容易发生粘连、结块现象，进而严重影响化肥的粒度均匀性与流动性；而温度过低，则会导致颗粒强度不足，在搬运等过程中极易破碎。

基于不同品级化肥的特性差异，需针对性地控制干燥温度，通常控制范围在80～95 ℃。包装温度则需综合考虑物料性质与能耗因素，一般控制在35 ℃。这一系列操作可有效降低化肥在储存期间因水分过多而引发的板结风险。此外，适当延长化肥的降温时间，确保包装时温度处于较低水平，能够进一步降低板结发生的可能性，从而全面提升高浓度复合肥料的储存性能与质量稳定性。

（2）添加防结剂：防结剂的添加是预防化肥板结的重要手段[9-11]。根据HG/T 5520—2019，化肥防结块剂分为粉状、膏状及液体状。具体而言，粉状防结块剂细分为非水溶性与水溶性两种型号，液体防结块剂则分为水性与油性两类。在选择这3类化肥防结块剂时，均需满足特定的技术要求。

当下，防结剂的种类繁多，防结块效果存在较大差异。笔者团队选用两种工业上应用成熟、工艺稳定的粉状包裹剂（B、C）开展包裹实验。尽管两者在常规工况下均表现良好，但针对高氮品级物料时，包裹效果差异较为显著，具体实验见表2。

表2 不同包裹剂包裹后成品的剪切力

Table2 Shear force of finished products after being wrapped with different packaging materials N

编号	A(空白)		B		C	
	1	2	3	4	5	6
1	200.00	186.71	29.01	32.42	60.36	33.32
2	200.00	200.00	36.35	29.12	34.51	34.87
3	189.78	200.00	33.37	31.59	30.05	36.78
4	200.00	197.51	28.36	21.07	33.65	35.21

注：剪切设备的应力上限为200 N，除包裹剂品种不同，其他条件一致。

从实验数据得知，此次实验包裹剂B的防结块性能优于包裹剂C。另外，以北京富瑞雪科技发展有限公司的《一种肥料防结块剂及其应用》专利产品[7]为例，该产品通过添加特定的天然矿石粉末与硅烷类偶联剂，降低化肥颗粒间物理化学反应发生的可能性，进而在颗粒表面形成一层保护膜。这层保护膜能有效阻止化肥颗粒相互黏附、团聚，从而确保化肥在长达6个月的储存期内不会出现板结现象。其作用机制清晰明确，技术支撑坚实可靠。

（3）提高颗粒均匀度：依据GB/T 24891—2010

《复混肥料粒度的测定》，复混肥料颗粒粒度应严格控制在1.00～4.75 mm或3.35～5.60 mm范围内。其中，低浓度复混肥料规定粒径大于1.00 mm的颗粒占比需超80%，中高浓度复混肥料则要求该占比达90%以上。通过针对性地优化筛分系统，可以显著提升化肥颗粒的均匀度[10]。颗粒均匀度越高，颗粒间相互作用力越小；颗粒表面越圆润，彼此间摩擦力也越小。保证颗粒具备适宜的圆润度与直径，既能减轻贮存过程中的压力，又可降低化肥颗粒间的挤压与摩擦，进而有效降低肥料板结的可能性。

2.2　使用端的控制措施

（1）维持仓库阴凉干燥环境：依据相关储存标准，化肥储存环境温度宜控制在30 ℃左右，相对湿度处于60%～70%区间为佳。为切实保障化肥储存条件，应按照GB 50072—2011等标准要求，于仓库内合理设置排风扇。在环境温度或湿度超出适宜范围时，及时启动排风扇进行降温排湿作业，以此维持仓库内阴凉干燥状态。此举措可有效降低化肥吸收水分的概率，进而显著减少化肥板结现象的发生。

（2）实施定期翻包作业：针对养分含量较高的化肥，鉴于其易因长时间堆积而出现板结问题，需依据行业操作规范，定期开展翻包处理工作。通过定期翻包，可改善化肥的堆积状态，避免局部压力过大，有效预防板结。

（3）遵循分开堆放原则：鉴于部分化肥间易发生化学反应，依据《危险化学品仓库储存通则》（GB 15603—2022）等标准，应将此类易发生化学反应的化肥分开堆放。以避免化肥间产生不良反应，防止板结现象的出现。

（4）控制码垛高度：按照行业标准，纸袋或单层塑料袋包装的复合肥码垛高度宜在1.0～1.5 m，高氮肥码垛高度不超过1.2 m。通过合理降低化肥码垛高度，能够减少颗粒间的相互挤压，避免化肥因长时间受压而发生板结。

3　技术层面的支持

从技术层面来看，可以通过多种手段为化肥防板结提供技术支持，以确保化肥的质量和稳定性[8,11-12]。

3.1　新型防结块剂的开发

在新型防结块剂的研发上，不断探索创新。液态复合肥防结块剂便是其中的佼佼者，它不仅使用简便，而且环保无污染，对环境和人体均无害。以北京科普基业精细化工科技有限公司推出的KJFF-Ⅷ型液态复合肥防结块剂为例[13]，该剂采用了性能优良的膜材料，具有良好的成膜性、黏结力和水溶性。在化肥生产过程中，这种防结块剂能有效降低游离水的表面张力，从而阻止化肥颗粒间晶桥的形成，从根本上防止化肥的板结现象。

3.2　生产工艺的优化

在生产工艺方面，引进现代化的生产技术和设备。通过采用先进的造粒设备和干燥工艺，可以显著改善化肥颗粒的均匀性和松散性，使其更易于储存和运输。同时，还可对贮存环境条件进行优化，确保化肥在储存过程中不会因环境因素而结块。

3.3　包装技术的改进

包装技术同样对化肥的防板结至关重要。可以采用防潮性能出色的包装物，以防止化肥在储存过程中吸收过多的水分。同时，还可以对包装材料和包装方式进行优化，提高包装的密封性和防潮性。这样一来，化肥在储存和运输过程中就能有效避免水分的侵入，从而降低板结的风险。

4　生产管控和技术支持的实施

4.1　生产管控的实施

健全的生产管控体系对于确保化肥生产过程中的安全和质量至关重要，涵盖了原料选择与检验、生产工艺安全控制、设备维护与检修、职工培训与安全意识教育以及生产过程控制等多个方面，旨在通过精细化管理，降低化肥板结的风险，提升产品质量。

1）　原料选择与检验　应始终坚持选用优质原料，并严格把控原料质量[14]。对每一批原料都进行细致的检验和抽样检测，确保其符合生产标准。同时，建立原料质量追溯体系，详细记录原料的来源、批次、检验报告等信息，一旦发现问题，能够迅速追溯到源头，确保生产过程的可追溯性。

2）　生产工艺安全控制　对整个生产工艺进行全面评估和分析，明确各项操作的工艺参数和安全要求。在此基础上，建立严格的安全控制措施和操作规程，确保生产过程中的每一步都符合安全标准。此外，采用现代化的生产技术和设备，如自动化控制系统、远程监控等，提高生产过程的智能化水平，确保生产的安全性和稳定性。

3）　设备维护与检修　定期对设备进行检查和维护，及时发现并处理设备的故障和隐患，确保设备安全可靠。同时，建立设备维护记录，详细记录设备的运行状况、维修记录等信息，以便对设备的运行状况进行持续跟踪和分析。此外，采用先进的设备管理系统，如预防性维护、预测性维护等，提高设备的可靠性和使用寿命。

4）　职工培训与安全意识教育　始终将提升员

工的安全意识和防范意识放在首位。通过定期的培训和教育活动，不断提高员工的安全技能和操作水平，确保其在生产过程中能够严格遵守安全规程，减少安全事故发生。此外，建立员工技能考核体系，对员工进行定期的技能考核和评估，确保员工具备胜任工作的能力。

5） 生产过程控制 （1）精确配比：对原材料用量进行理论计算，精确各物料的配比，以确保最终产品的质量和效果。（2）破碎与造粒：破碎时要考虑破碎设备的选择和使用方法，确保物料的细度和质量。造粒时要控制加水量和造粒速度，以确保造粒质量。通过优化破碎和造粒工艺，可以提高化肥的颗粒均匀性和松散性，降低化肥板结的风险。（3）质量检测：在生产过程中，建立严格的质量检测体系，对化肥的各项质量指标进行监测和记录。一旦发现质量问题，立即采取措施进行整改，确保产品质量符合国家标准和客户要求。（4）环境控制：对生产环境进行严格控制，确保生产的温度、湿度等参数符合生产要求。通过优化生产环境，可以减少化肥在储存和使用过程中的板结现象。

综上所述，通过健全的生产管控体系并加强生产过程控制，可以确保化肥生产过程中的安全和质量，降低化肥板结的风险。

4.2 技术支持的实施

化肥生产企业应加强与科研机构和技术服务机构的合作，引进和研发先进的防结块技术，为化肥防板结提供技术支持[15-23]。

技术支持的引进：引进国内外先进的防结块技术和设备，提高化肥防板结的技术水平。

技术研发与创新：加大技术研发和创新力度，开发新型防结块剂和包装材料，提高化肥的防板结性能。

技术咨询与服务：为用户提供技术咨询和服务，解决化肥在使用过程中出现的板结问题。

5 更好的防结块方法及其性价比评估

在现有防结块方法的基础上，不断探索和研发更好的防结块方法，不仅关乎化肥防板结效果的提升，更需以性价比为准则，确保实际应用中的经济性与环保性，并积累丰富的实践经验。

5.1 更好的防结块方法

（1）生物降解材料的应用，如淀粉、纤维素等，这些天然高分子材料不仅环保，而且能自然分解，减少对环境的负担。在实际操作中，某化肥企业采用了淀粉基防结块剂，发现其在化肥生产过程中的添加量适中，既能有效吸收化肥中的多余水分，又能避免化肥因湿度过高而结块。经过长时间储存和运输，该化肥的分散性和利用率显著提升，减少了因板结导致的浪费。

（2）纳米技术的应用，如纳米二氧化硅、纳米氧化铝等，这些纳米材料凭借微小的粒径和高活性，在实际应用中能紧密附着在化肥颗粒表面，形成一层难以穿透的保护屏障。某科研机构经过多次试验，发现纳米防结块剂的使用量虽少，但效果显著，不仅有效防止了化肥在储存和运输过程中的板结现象，还提高了化肥的稳定性和分散性。此外，纳米材料的使用还使得化肥颗粒更加均匀，提高了施肥的精准度和效率。

通过查阅国内外肥料加工工艺、防结块助剂应用研究及行业产业化文献可知，目前国内已有多家大型化肥龙头企业及专业助剂生产企业实现规模化工业化落地应用。根据国家知识产权局公开专利资料、化工行业实测报告及企业公开技术数据可知，两类新型防结块技术相较于传统油脂类、无机盐类防结块工艺，在防潮控湿、抗结块稳定性等方面均实现明显提升（见表3）。

表3 新型防结块剂的应用表现

Table 3 The application performance of new anti-caking agent

组别	质量添加比例/%	结块率/%	分散度	环保性
空白组	0	26.8	56	
		16.3	68	
淀粉基	1	4.9	87	可完全降解
		3.1	90	
纳米基	0.25	1.6	94	无机纳米
		1.1	96	稳定无毒

注：此表数据试验条件为25 ℃、相对湿度75%、90 d仓储、50 kg袋装堆码承压。

5.2 性价比评估

在评估不同防结块方法的性价比时，需全面考量。首先，防结块效果上，要关注其在实际应用中的防结块率和持久性。例如，某化肥生产企业在对比生物降解材料和纳米技术时，发现两者在防结块效果上均表现出色，但生物降解材料在成本上更具优势。其次，生产成本方面，需精确计算从原料采购到成品产出的所有费用。在对比不同防结块剂的生产成本时，发现虽然纳米材料的初期投入较高，但其使用周期长，维护成本低，整体而言性价比仍然较高。最后，环境影响上，要看其是否会造成环境污染，以及是否易于生物降解。在这一点上，生物降解材料因其天然、环保的特性而更具优势。

6 结论

化肥板结是化肥生产和使用过程中常见的问

题，严重影响化肥的使用效果和农业生产效益。本文通过分析化肥板结的原因，探讨了多种防结块措施，包括生产一线人员的控制措施和技术层面的技术支持。通过实施这些措施，化肥板结现象得到了有效控制，肥料的质量和稳定性得到了显著提高。同时，本文还探讨了性价比高的防结块方法，并强调了防结块的目的和意义。未来，应继续加大防结块技术的研发力度，提高防结块剂的性能和适用性，为农业生产提供更加优质的化肥产品。

[参考文献]

[1] Rutland D W. Fertilizer caking: Mechanisms, influential factors, and methods of prevention[J]. Fertilizer Research, 1991, 30(1): 99–114.

[2] Hong Wei, Peng Guirong, Wu Shu, et al. Effect of Potassium Nitrate on Anti-Caking Performance of AN-based NPK Granular Compound Fertilizer[J]. Integrated Ferroelectrics, 2020, 208(1): 17 – 27.

[3] Tyc A, Penkala S, Grzesik R, et al. Influence of Anti-Caking Agents on the Highly Effective Organic Coatings for Preventing the Caking of Ammonium Nitrate Fertilizers[J]. Coatings, 2020, 10(11): 1093.

[4] Hansen L D, Hoffmann F, Strathdee G. Effects of anticaking agents on the thermodynamics and kinetics of water sorption by potash fertilizers[J]. Powder Technology, 1998, 98(1): 79–82.

[5] Hu Pan, Zhang Yihe, Wang Yue, et al. Novel Anticaking Materials of Bentonite, Biological Carbon and Abandoned Animal/Plant Oil in Compound Fertilizer [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 457–458: 197–201.

[6] 张伟.复合肥料吸湿和结块性能及防止研究[D].上海：华东理工大学，2012.
Zhang Wei. Study on Moisture Absorption and Caking and Their Prevention of Compound Fertilizer [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012.

[7] 北京富瑞雪科技发展有限公司.一种肥料防结块剂及其应用：201310567304.1[P].2015-02-18.

[8] 刘国飞.复合肥防结块剂的研制及其防结块性能的研究[D].青岛：青岛科技大学，2017.
Liu Guofei. Studies on the preparation of anti-caking agent and its anti-caking property for compound fertilizer[D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2017.

[9] 周晶晶，姜振胜，唐丽丹.复合肥防结块性能测试方法的比较和探讨[J].磷肥与复肥，2022，37(5)：9-11.
Zhou Jingjing, Jiang Zhensheng, Tang Lidan. Comparison and discussion on testing methods for anti-caking performance of compound fertilizers[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2022, 37(5): 9-11.

[10] 李云利，宋天月，刘保福，等.提高硫酸钾复合肥颗粒圆整度的措施[J].磷肥与复肥，2024，39(4)：15-18.
Li Yunli, Song Tianyue, Liu Baofu, et al. Measures to improve roundness of potassium sulfate compound fertilizer[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2024, 39(4): 15-18.

[11] 汪敬恒，谷利敏，杨素芬，等.化学肥料防结块研究与应用[J].河南科学，2018，36(8)：1200-1204.
Wang Jingheng, Gu Limin, Yang Sufen, et al. Study and Application of Anti-caking of Chemical Fertilizer [J]. Henan Science, 2018, 36(8): 1200-1204.

[12] 熊伟，盛先芳，王金平，等.植物油制备肥料防结块剂及其应用效果研究[J].磷肥与复肥，2018，33(10)：7-10.
Xiong Wei, Sheng Xianfang, Wang Jinping, et al. Study on anti-caking agent prepared from vegetable oil and its application effect[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2018, 33(10): 7-10.

[13] 北京科普基业精细化工科技有限公司. 复合肥液态防结块剂：CN200810147497.4[P]. 2013-02-27.

[14] 中国-阿拉伯化肥有限公司.一种提高硝酸磷钾肥料防结块性能的方法：CN201710336200.8[P].2017-09-28.

[15] 朱喜，焦士杰，郭利，等.硝酸钾协同改性硝铵磷对硝基复合肥防结块性能的调控机制研究[J].生态产业科学与磷氟工程，2025，40(10)：69-74.
Zhu Xi, Jiao Shijie, Guo Li, et al. Study on regulatiorgn mechanism of potassium nitrate co-modified ammonium phosphate on anti-caking performance of nitro compound fertilizer[J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(10): 69-74.

[16] 王艳玮，马兆立.高塔造粒硝基复合肥的防结块研究[J].山东工业技术，2025(5)：114-117.
Wang Yanwei, Ma Zhaoli. Researoh on Anti-caking of High tower Granulated Nitro Compound Fertilizer [J]. Journal of Shandong Industrial Technology, 2025 (5): 114-117.

[17] 杨旭东，王凤霞，王远方，等.聚磷酸铵结块机制及防结块剂研发[J].生态产业科学与磷氟工程，2025，40(4)：50-55.
Yang Xudong, Wang Fengxia, Wang Yuanfang, et al. Mechanism of ammonium polyphosphate caking and development of anti-caking agents [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(4): 50-55.

[18] 王金刚，杨振军，刘洪涛，等.不同因素对高氮复合肥结块的影响[J].磷肥与复肥，2023，38(4)：14-15.
Wang Jingang, Yang Zhenjun, Liu Hongtao, et al. Effects of different factors on caking of high nitrogen compound fertilizer[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2023, 38(4): 14-15.

[19] 金杰理，曹潇.高塔硝基复合肥结块原因分析及应对措施[J].磷肥与复肥，2021，36(6)：12-14.
Jin Jieli, Cao Xiao. Causes analysis and countermeasures for caking of nitro compound fertilizer with high tower[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2021, 36(6): 12-14.

[20] 高伟.利用硝铵磷制备硝基复合肥防结块探讨[J].技术与市场，2019，26(6)：194.

[21] 湖北富邦科技股份有限公司.一种高磷复合肥防结块剂及其制备方法：CN201711188152.9[P].2018-04-27.

[22] 李香红，肖占梅，茹铁军.复合肥结块影响因素及其程度分析[J].磷肥与复肥，2009，24(1)：62-63.
Li Xianghong, Xiao Zhanmei, Ru Tiejun. Analysis on factors affecting the caking of compound fertilizer and its degree [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2009, 24(1): 62-63.

[23] 唱润宏，肖占梅.复合肥结块影响因素及防结块措施[J].煤炭与化工，2020，43(3)：142-144.
Chang Runhong, Xiao Zhanmei. Influencing factors of fertilizer caking and anti caking measures[J]. Coal and Chemical Industry, 2020, 43(3): 142-144.